

鉄筋コンクリート柱はりト形接合部の定着方法の影響に関する数値解析的研究

NUMERICAL STUDY ON ANCHORAGE AT REINFORCED CONCRETE BEAM-COLUMN T SHAPED JOINTS

構造及びコンクリート工学分野

北川晴之

鉄筋コンクリート柱はり接合部は設計上、剛となっており、加えて地震に繰返し作用を受けることから、その構成材配置は複雑化している。そこで、定着方法をパラメータとした既往の交番載荷実験成果 15 例に対し、有限要素法を用いて、接合部内の挙動に与える影響を明らかにすることを目的としている。具体的には、はり部材主筋の定着方法として主筋端の定着板と U 字折曲げの二形式に着目し、接合部の性能指標としての荷重-変位関係や応力伝達特性に及ぼす影響について検討した。

RC beam-column joints are designed ordinary to be rigid, and also subjected to severe shear action due to earthquake. Their structural details, for example, reinforcement are complicated generally. In this study, 15 T-shaped joints, placed several anchorages of a beam, under cyclic loading are examined with non-linear finite element analysis. The obtained transitions of load – deformation curve and stress transmission as increasing cyclic shear deformation are discussed, in particular, to be related to the each anchorage detail.

1. はじめに

構造物を構成する柱部材とはり部材の交差する領域を柱はり接合部という。一般的に、柱はり接合部は地震力等によって、外力が発生した場合、応力が集中しやすい箇所であり、構造物の弱点となっている。このため実設計^{1)~3)}においては、土木構造物、建築構造物のいずれにもかかわらず、接合部で破壊しないようにするため、剛体として規定されているので、十分な鉄筋、鋼板等の構成材が補強用に配置されている。

しかし、構造物の設計では兵庫県南部地震以降設計に関する地震の影響が大きくなっており、従来よりも設計において接合部内に多くの鉄筋等の構成材が配置されるようになってきている。そのため、十分な構成材の配置のために柱はり接合部の被害は見られなくなったが、構造物において接合部内に構成材が過密配置されており、接合部での構造が複雑化している傾向にある。接合部の構造が複雑化することで、施工の煩雑さ、断面の増大、コストの増加、環境負荷の増加等が考えられる。よって、接合部は十分安全側で設計されているが、配置されている個々の構成材がどの程度接合部の安全性に寄与しているのかは不確かであり、不要な構成材があると考えられ、設計の簡易化が望まれている。

よって、柱はり接合部を対象として、用いられる個々の構成材をパラメータに、構成材の組み合わせによっ

て接合部への影響を有限要素法による材料非線形解析を用いて検討し、合理的な柱はり接合部の設計を行う必要がある。しかし、接合部の研究は十字形接合の研究が多く、実験、解析の困難さからト形接合部の研究があまりなされていぬ現状がある⁴⁾。

そこで本研究では、RC 柱はりト形接合部を対象に、破壊機構に影響を与える因子をパラメータに、接合部内の破壊状態を確認することで各因子の接合部へ与える影響を得ることを目的に、有限要素法による材料非線形解析を行うこととした。破壊機構に影響を与える因子として、本研究において着目するものは、文献 5) に示されているように、主鉄筋の付着と定着である。付着とは鉄筋とコンクリートの付着特性についてであり、一方、定着とは鉄筋が抜け出さないように固定することである。まずト形接合部に対する数値解析におけるモデル化について付着特性に着目し検討を行い、解析モデルの実験との妥当性を調べる。次に定着に着目し、各構成材の影響が RC 柱はりト形接合部内の応力状態等、実験では確認できない観点からその破壊に至る性状を明らかにすることを目的とする。

2. 解析概要

2.1. 解析対象

文献 6)7)の鉄筋コンクリート構造のト形柱はり接合

部の実験成果を解析の対象に選ぶ。文献7)では、L～Pシリーズ(計28体)の実験が行われており、その中の、LシリーズとOシリーズに着目した。図-2.1、表2.1に試験体の詳細を示す。Lシリーズは計11体で、柱とはりの曲げ強度の比の影響を明らかにすることを目的に設計されている。よって実験変数は、はり主筋の定着長さ、柱とはりの曲げ強度比、はり主筋量であり、はり主筋端は定着板が設置されている。一方、Oシリーズは計4体で、図-2.1の右図の中央部に示すように、はり主筋を折り曲げ筋とした試験体である。実験変数は、Lシリーズと同じである。

実験においては、正負交番荷重を行っており、図-2.2に荷重履歴を示す。初期の荷重は、初期剛性を確認するために、小振幅の荷重となっており、その値は柱・はり端部曲げひび割れ発生時層せん断力計算値の0.5倍の値となっている。それ以降の値に関しては、層間変形角0.25%、0.5%の荷重を各1回、層間変形角1.0%、1.5%、2.0%、3.0%、4.0%の荷重を各2回行っている。

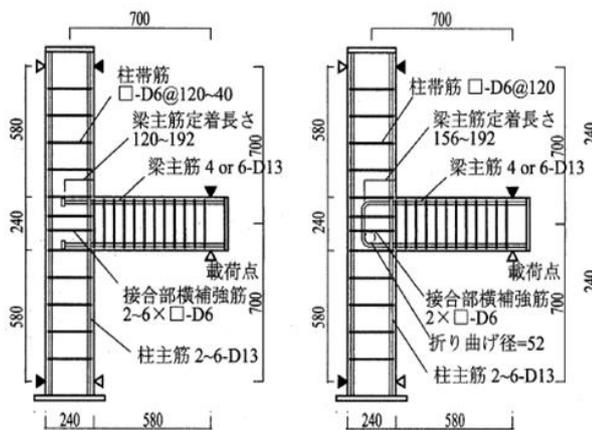


図-2.1 試験体の形状および配筋

L、Oシリーズにおいては、はり主筋の方が柱主筋よりも多いので、柱主筋降伏が多く見られている。

2.2. 解析手法

有限要素解析には、コンクリート構造物非線形FEM解析プログラムFINAL⁸⁾を用いた。その構成則においては、コンクリートは圧縮側の上昇および最大強度後の下り勾配について修正Ahmadモデル、引張側がひび割れ発生まで線形弾性とし、引張強度発現後の下り勾配には出雲モデルが適用される。修正Ahmadモデルは、拘束を受けて強度と靱性が上昇する場合の軟化域特性が考慮されており、圧縮強度以降のひずみ軟化域は固定していない。出雲モデルは、係数を1.0としている。鉄筋の降伏判定方法は平均ひずみから求めた応力で判定する。鉄筋はバイリニアモデルとなっている。各材料のモデル化は、コンクリートを四辺形要素、鉄筋をトラス要素としている。また、コンクリートと鉄筋の付着は、後述で考慮するものを除き、両要素を同一節点で表現している。

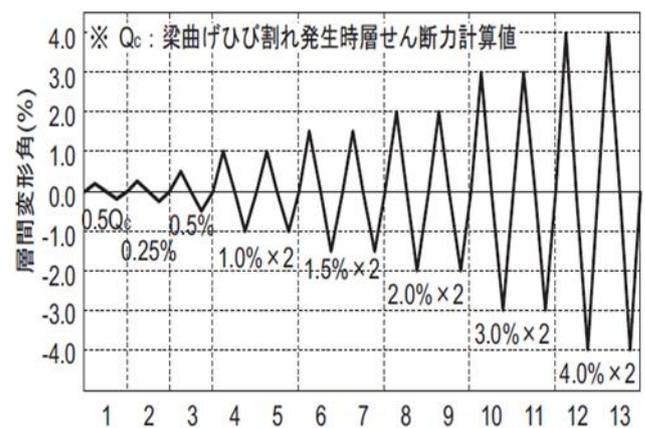


図-2.2 荷重履歴

表-2.1 試験体概要

シリーズ	L											O																		
試験体	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	O1	O2	O3	O4															
コンクリート強度(MPa)	27.7											29.8																		
梁	スパン(mm)															700														
	幅(mm)×せい(mm)															240×240														
	引張主筋本数(D13)															4				6		4		6						
	引張鉄筋比(%)															0.98				1.47		0.98		1.47						
柱	軸力															0														
	スパン(mm)															700														
	幅(mm)×せい(mm)															240×240														
	引張主筋本数(D13)															2	3	4	2	3	4	2	4	6	4	6	3	2	3	6
	引張鉄筋比(%)															0.49	0.73	0.98	0.49	0.73	0.98	0.90	0.98	1.47	0.98	1.47	0.73	0.49	0.73	1.47
接合部	帯筋比(%)															0.22														
	軸力															0														
接合部	横補強筋数(□-D6)															2														
	補強筋比(%)															0.28														
梁主筋 定着部	定着方法															定着板				U字										
	定着長(mm)															192				156		120		156		192		156		
	定着長/柱せい															0.80				0.65		0.50		0.65		0.85		0.65		
	定着長/主筋径															14.8				12.0		9.2		12.0		14.8		12.0		
接合部アスペクト比															1.0															
梁柱幅比															1.0															
柱梁曲げ強度比															1.07	1.56	2.05	1.07	1.56	2.05	1.07	2.05	3.03	1.39	2.05	1.56	1.07	1.56	2.05	

2.3. 解析における諸設定

前述したように、2次元平面応力状態の有限要素でモデル化した。図-2.3に解析モデル例、表-2.2に材料特性を示す。コンクリート要素の大きさを柱、はり断面の1/10である24×24mmを基準に要素分割している。この解析モデルの妥当性においては単調荷重を行い、初期剛性、最大耐力、鉄筋降伏の3点から検討した。具体的には、実験結果との整合性、柱両端の固定方法と要素のバラつきにおける局所破壊の発生に着目した。単調荷重結果より、固定方法としては柱の上端を上下方向自由、下端を左右方向自由とし、要素のバラつきにおける局所破壊は確認できなかったため、図-2.3のモデルで、正負交番荷重を行う。

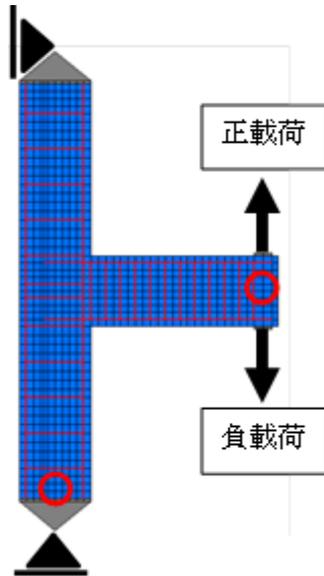


図-2.3 解析モデル例

荷重方法としては正負交番荷重であり、実験での荷重履歴(図-2.2)を用いたが、解析においては、初期剛性を確認する小振幅を単調荷重での解析結果であるひび割れ発生荷重の0.5倍に決定した。

また、解析での変位着目点は、図-2.3の○で示している。測定内容は実験と同様に、はりのせん断力、柱と梁の水平変位、鉄筋の降伏の3点である。はりせん断力は、層せん断力に換算して用いる。柱、はりの水平変位は相対変位に換算し、はりスパン(700mm)で除し、層間変形角として用いる。鉄筋降伏は、柱、はりの主鉄筋は柱、はり主筋が交差している位置、接合部横補強筋と柱帯筋は鉄筋の中央位置に着目し、他の位置で鉄筋が降伏しても、鉄筋の降伏としていない。

2.4. 解析結果の検討方法

解析結果としては、層せん断力-層間変形角関係、鉄

表-2.2 材料特性

コンクリート			鉄筋			
シリーズ	圧縮強度 (MPa)	引張割裂強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	種別	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
L	27.7	2.35	26.85	D13(SD345)	380	200
O	29.8	2.22	27.9	D6(SD295A)	334	200

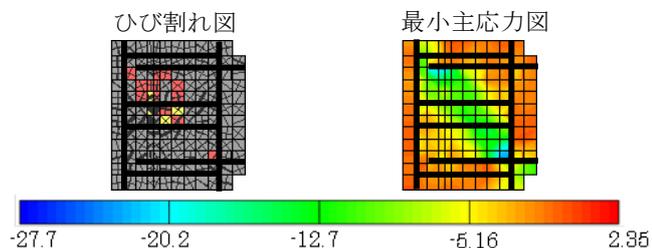


図-2.4 解析結果例 (N/mm²)

筋降伏図、ひび割れ図、最小主応力図に着目する。この4つの結果より、実験との整合性を確認し、定着の影響に対する接合部内の状況を、ひび割れ図、最小主応力図から観察する。ここで、最小主応力図とひび割れ図について説明を加える。図-2.4(黒線；鉄筋)より、接合部のひび割れ図はコンクリートのひび割れ性状を示しており、コンクリート要素ごとにひび割れが入り、黄色になると圧縮軟化を、赤色になると圧縮軟化後を示している。また、最小主応力図はコンクリートの応力度を示しており、コンクリートの圧縮強度~引張割裂強度までの応力である。色の違いとしては、赤色になるほど引張割裂強度に近づき、青色になるほど圧縮強度に近づくことを示している。

3. 付着特性に着目した解析

3.1 検討概要

付着特性の検討概要としては、付着応力-すべり関係、付着領域、付着強度について検討した。付着応力-すべり関係は、様々な研究例と提案式より、6種類の検討を行っている。付着領域は、柱、はり主筋とコンクリートの付着を接合部内の付着を基準に、どの領域まで考慮すべきかについて3種類の検討を行っている。付着強度については、付着応力-すべり関係を基に、最大付着応力を4種類に変化させた場合の検討を行っている。

以上の検討をLシリーズのL01を対象に行った結果、実験との整合性が確認できた付着特性(付着応力-すべり関係、付着領域)を図-3.1, 3.2に示す。図-3.1は、付着領域を赤線で示しており、はり主筋全長と接合部内柱主筋となっている。図-3.2は、最大付着応力を10N/mm²とし、それ以降すべり3mmまで応力を一定としている。

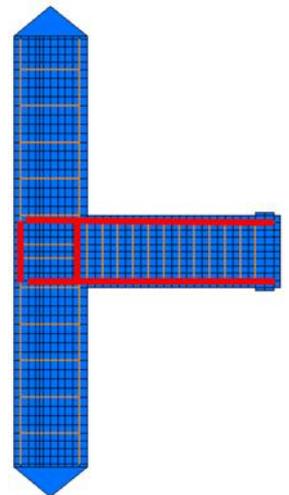


図-3.1 付着領域

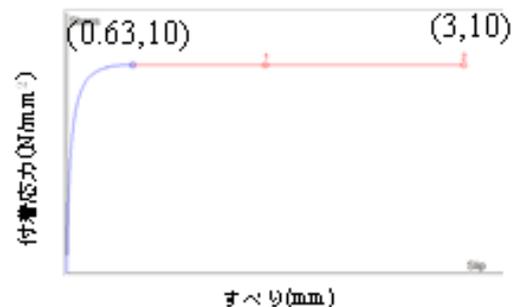


図-3.2 付着応力-すべり関係

3.2. 実験との整合性の確認

決定した付着特性(図-3.1, 3.2)を基に, L, O シリーズにおいて解析を行う。しかし, 解析を行った結果, 以下のような検討課題が生じた。

まず, 層せん断力-層間変形関係である。図-3.3 に実験と解析の結果を比較した例として L01 の結果を示す(黒線; 実験, 青線; 解析)。実験では, 層間変形角 4% まで変形しているが, 解析では, 層間変形角 1.5~2% で破壊に至っている。解析では層間変形角 1.0~1.5% で圧縮軟化が生じており, 圧縮軟化が急激に進展し, 破壊に至っているからである。実験でも, 「層間変形角 1.0~1.5% で接合部パネルのコンクリートの圧壊が始まり, 変形の増大とともに圧壊も進展した」⁷⁾とあり, 層間変形角 1.0~1.5% までの傾向は一致している。

次に, 鉄筋の本数が多い試験体(L10, L11, O04), 鉄筋本数が少なく, 定着長が短い試験体(L07)では, 前述より局所的な破壊が見られた。図-3.4 に L10 の終局時のひび割れ図を示す。入隅部で圧縮軟化が卓越しているのが分かる。これは, 鉄筋量が過大もしくは定着が短く, 鉄筋量が少ないため, 鉄筋の応力負担が少なく, コンクリートが急激に圧縮軟化しているためである。また入隅部は, 曲げモーメントが最大となる箇所であり, 鉄筋の性能が十分発揮できてないと, コンクリートの負担が増大してしまう。これらの試験体では, また鉄筋が降伏していないので, このことより, コンクリートの負担分が増加していることが分かる。

前述以外の最大耐力, 応力状態などでは, 実験との整合性が得られている。

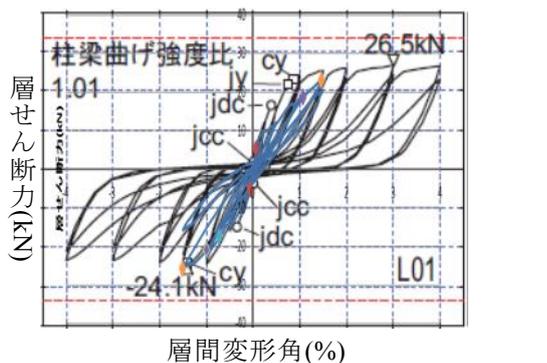


図-3.3 層せん断力-層間変形角比較

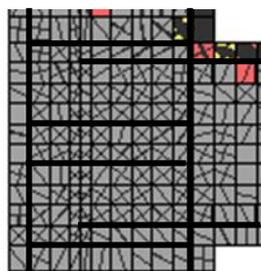


図-3.4 終局時のひび割れ図(L10)

4. コンクリートの局所破壊への対処

4.1 対策案

前述の課題では, 局所的な破壊が原因となっており, この破壊を防ぐもしくは, 破壊しても解析が行えるように, モデルを変更する必要がある。改善策としては, 応力伝達の向上, コンクリートを破壊しにくい要素にすることなどが考えられる。

そこで, 案として「モデル全体に, 仮定の剛性が低い弾性膜を埋め込み要素として付与する」ことを試行する。ここで, 剛性の低い弾性膜とは, 試験体に影響を与えないほど断面積が小さく, 降伏しない弾性体のことである。これを付与することで, コンクリート単体の要素をなくし局所破壊しても応力を保持し, また応力の伝達が向上される。弾性膜の剛性は鉄筋比によって決定している。

また, 弾性膜を付与したので, 再度付着特性のうち付着領域においてのみ検討した。検討した結果, 図-3.1 の付着領域とは異なり, 図-4.1 のように, はり主筋において柱高さまで, 柱主筋は接合部内としている(赤色; 付着領域)。

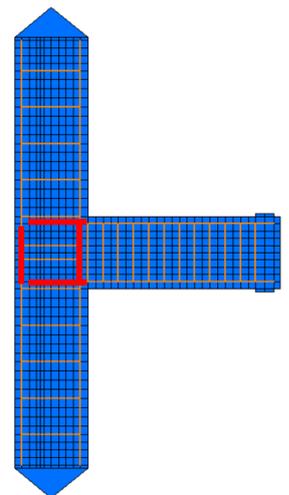


図-4.1 付着領域

4.2 対策案の評価

上述の課題に対する対策案の効果を検討する。

まず, 層せん断力-層間変形角について述べる。図-4.2 に L01 の層せん断力-層間変形角比較を一例として示す(黒線; 実験, 青線; 解析)。層間変形角は 3.0% に至り, 図-3.3 の弾性膜付与前と比べて, 改善されているのが分かる。図-4.2 では最大耐力においても, 実験値と近い結果になっている。履歴形状についても, 実験と同様のスリップ型になっているのが分かる。他の試験体においても, 層間変形角 2.0~3.0% で破壊に至っており, 履歴特性も実験と同様の結果となっている。

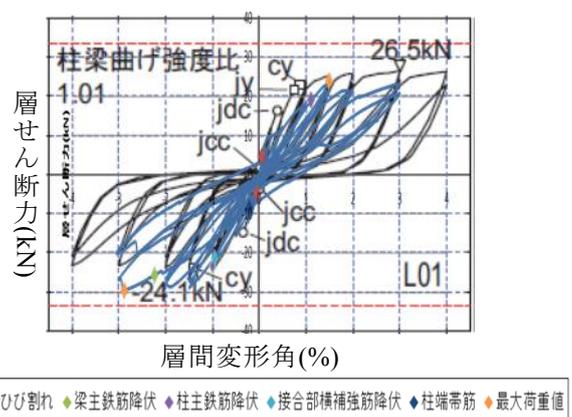


図-4.2 層せん断力-層間変形角比較

次に、入隅部での局所破壊について述べる。図-4.3に、L10の終局時のひび割れ図を示す。図-3.4と比較すると、入隅部での圧縮軟化は確認できるが、接合部内にも圧縮軟化しているコンクリート要素数が増えているのが分かる。圧縮軟化が生じて、そこで応力集中せず、接合部全体で耐力を保持しているのが分かる。弾性膜を付与することで、接合部全体に応力伝達されていると考えられる。

ここで、弾性膜を付与することで、応力伝達が行われているのかを図-4.4に示すL01の層間変形角1.5%時の最小主応力図から詳しく観察する。弾性膜の有無に係わらず、接合部内に圧縮ストラットは確認できる。しかし、応力の大きさと伝達において、異なっている。圧縮ストラットは弾性膜付与前では、接合部横補強筋で、応力が低下しているが、弾性膜付与後は応力の低下は小さくなっている。特に、弾性膜を付与する前は、下側のはり主筋の端部と上側の柱、はり主筋の交差部において、応力集中が見られるが、弾性膜を付与することで、応力度が低下しているのが分かる。これより、弾性膜を付与することで、局所的な応力集中をなくすことができ、接合部全体に応力を流すことができる。

対策の目的であった応力の伝達の向上と局所破壊の防止には、弾性膜を付与することで効果があった。しかし、層間変形角において、実験では4.0%まで確認されているが、解析では弾性膜を付与しても2.0~3.0%までであった。しかし、他の鉄筋降伏、最大耐力、破壊状況については、実験との整合性が見られたの

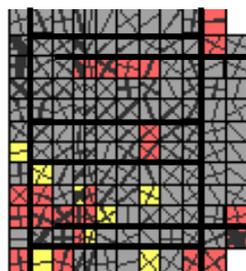


図-4.3 ひび割れ図

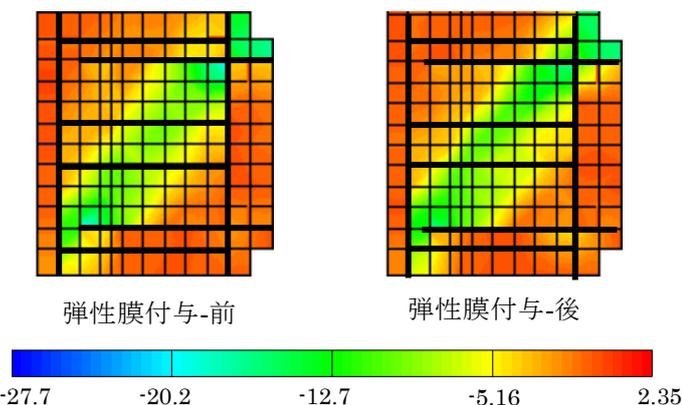


図-4.4 最小主応力図(N/mm²)

で(表-4.1)、弾性膜付与した結果に基づき、定着の影響について考察する。表-4.1では、主筋降伏の有無と最大耐力比(解析値/実験値)を示している。主筋降伏では、実験と同じなら○、異なっていたら×としている。

5. 影響因子の考察

影響因子は、主鉄筋本数、定着長さ、定着方法の大きく3種類があるが、ここでは定着方法の違いの影響について着目する。

5.1 定着方法の影響

定着方法としては、定着板(Lシリーズ)とU字(Oシリーズ)の2種類がある。この差異による応力伝達に及ぼす影響について考察する。表-2.1より、定着方法以外同じ試験体の組合せは、(L02, O01), (L04, O02), (L11, O04)の3グループである。図-5.1にこの3グループの層間変形角1.5%時の最小主応力図を示す。

まず、定着長が長い(192mm), L02とO01を比較する。ともに圧縮ストラットの形成が明瞭に認められ、定着が長い場合は、あまり応力伝達に影響を与えない。しかし、上側のはり主筋端部での応力集中において、定着板でははり主筋端部、U字においては柱主筋と折り曲げ筋の間で生じている。U字では、柱主筋と折り曲げ筋の間で局所的破壊する可能性がある。

次に、定着長が156mmと短いL04とO02について比較する。L11とO04も定着長が156mmであるが、L04とO02は柱主筋2本、はり主筋4本であるが、L11とO04は柱、はり主筋ともに6本であり、鉄筋本数に大きな違いがある。まず、L04とO02について、L04は圧縮ストラットの形成が確認できるが、O02においては、応力が拡散しており、圧縮ストラットの応力度が低下している。これは、接合部横補強筋の影響もあるが、定着方法の影響が大きい。折り曲げ筋から、下側のはり主筋端部の応力が伝達され、応力を拡散させる原因となっている。

最後に、L11とO04について述べる。O04は圧縮ストラットの形成が明瞭である。一方、L11においては、圧縮ストラットも確認できるが、はり主筋端部の応力拡散が認められる。これは、鉄筋本数増加に伴う柱、はり主筋の引張応力の増加による、接合部内への応力の増加に起因する。O04において、応力の拡散が小さかったのは、折り曲げ筋によって、応力が接合部内へ伝達されたからと考えられる。

表-4.1 解析結果一覧

シリーズ	L											O				
試験体	L01	L02	L03	L04	L05	L06	L07	L08	L09	L10	L11	O01	O02	O03	O04	
梁主筋降伏	正	○	×	○	○	×	○	○	○	×	○	○	○	○	×	×
	負	×	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×
柱主筋降伏	正	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×
	負	○	○	×	○	○	○	○	×	○	×	○	○	○	○	×
最大耐力比 (解析/実験)	正	0.90	0.85	0.95	0.91	0.90	0.90	0.98	0.99	1.19	0.80	0.94	0.81	0.87	0.87	0.64
	負	1.23	0.98	0.96	1.13	0.94	0.95	1.15	1.30	1.09	0.74	0.89	0.91	1.00	0.99	0.72

定着長が同じ (L04, O02)と(L11, O04)において、大きな違いが見られた。これは、柱、はり主筋の影響が大きい。柱、はり主筋量が少ないと、折れ曲げ筋からの応力伝達に対する柱主筋の引張応力等が低く、応力の拡散につながるが、主筋量が多いと、この応力伝達に対抗する柱主筋の引張応力などが生じるので、それを抑制できる。

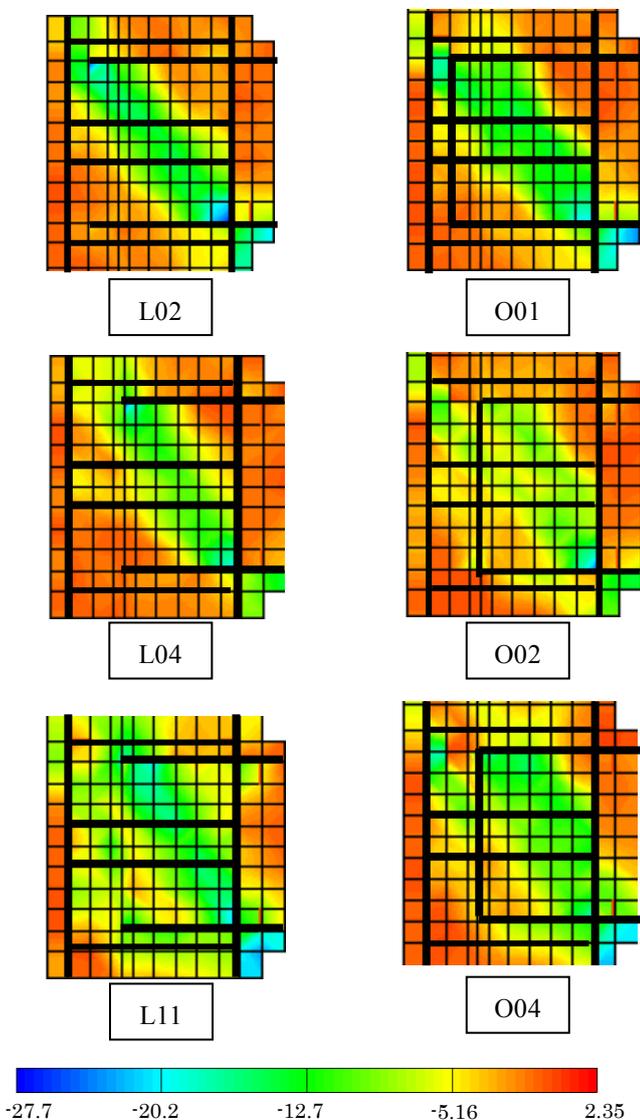


図-5.1 最小主応力図(N/mm²)

6. まとめ

鉄筋コンクリート柱はりト形接合部への部材主筋の定着方法に関して広範な因子を有する既往の正負交番繰返し載荷実験成果 15 体を対象に、非線形有限要素解析を用いて、その性状を数値解析的に検討した。まず、有限要素モデルの設定においては、定着の特性と深い関係を有する付着特性と、その有限要素モデルへの導入方法について検討し、付着応力-すべり関係をはじめとした特性値の選定を行った。そして、数値解析において生じるコンクリートの局所破壊に伴う数値特異性について、解析対象の剛性や耐力などの解析結果に影響を及ぼさない剛性の低い弾性膜を付与すること

の有用性を、得られた数値計算結果と既往の実験成果との対比から検証した。最後に、定着方法が接合部の特性に及ぼす影響について考察を加えた。

以下に、本研究で得られた成果を列記する：

- (1) 付着応力-すべり関係では、最大付着応力以降、3mm まで応力を保持する関係が最適であった。
- (2) 付着特性を導入する領域においては、柱主筋は接合部内、はり主筋においては全長が最適であった。
- (3) 繰返し載荷過程にて、圧縮軟化による局所破壊が生じる場合、それに起因して数値解析上、急激な破壊に至ることが見られた。それに対し剛性の低い弾性膜をコンクリート要素に付与することが有効であった。
- (4) 定着方法が接合部の特性を与える影響として、まず定着長が長い場合は定着方法に依らず良好な圧縮ストラットが形成されるが、定着長が短い場合は定着方法によって応力伝達に大きな違いが認められた。
- (5) 上記の影響に加えて、定着長が短く、鉄筋本数が少ない場合、定着方法が U 字であると、応力の拡散が見られるが、鉄筋本数が多い場合は、U 字であると良好な応力伝達が認められた。

参考文献

- 1) 土木学会：2012 年度制定 コンクリート標準示方書[設計編：標準] 第 1 編 部材の構造解析, 2012.
- 2) 日本建築学会：2010 年制定 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説第 3 章 荷重および応力・変形の算定, 2012
- 3) 土木学会：2009 年制定 複合構造標準示方書 [共通編] 第 8 章 構造解析および応答値の算定, 2009
- 4) 関根正孝, 小倉弘一郎：日本における鉄筋コンクリート柱はり接合部の研究について, 明治大学工学部研究報告 No.40, 1980
- 5) 市之瀬敏勝：鉄筋コンクリート構造, 第 5 版, 共立出版株式会社, 2003.9
- 6) 楠原文雄, 塩原等：柱とはりの曲げ強度の比が小さい鉄筋コンクリート造ト形柱はり接合部の耐震性能, 日本建築学会構造系論文集, Vol.78, No.693, pp.1939-1948, 2013.11.
- 7) 塩原等, 楠原文雄, 藤原圭祐, 浅井勇太, 福山洋, 田尻清太郎：鉄筋コンクリート造外部柱はり接合部の耐震性能におよぼす設計因子の影響に関する実験(その 1)~(その 5), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 2010.9
- 8) 大林組技術研究所 構造技術研究所：FINAL 使用手引書, 2011.4

討議

討議 [角掛久雄准教授]

定着長が短い場合も同じ破壊形式であるか。違う場合において、解析ではどのように判断しているのか。

回答

文献7)より、実験においては定着長が最も短い(定着長 120mm)L08, L09 の破壊形式は、梁、柱主筋が降伏せず(L08 は負側のみ)、接合部横補強筋及び柱端部の帯筋の降伏により梁主筋が抜け出す破壊形式になっている。図-1.1 に実験での L09 の層間変形角 3.0%の破壊状況を示している。解析においては、図-1.2 に L09 の終局時のひび割れ図を示している。解析においては、層間変形角 2.0%付近で破壊に至っているため、終局時のひび割れ図を示している。黒線は主鉄筋を示しており、赤線は実験での卓越しているひび割れを示している。また、要素において、黄色が圧縮軟化要素、赤色が圧縮軟化経験要素を示している。

図-1.2 より、接合部内の赤線上に、コンクリートの圧縮軟化が卓越しているのが分かる。これは、図-1.1 においても同様の位置で、ひび割れ幅が拡大している。また、鉄筋の降伏においても、解析においても正側の梁主筋降伏以外は確認されておらず、接合部横補強筋及び柱端部の帯筋に降伏による破壊となっている。

これらのことより、解析においても実験と同様の破壊形式となったと判断している

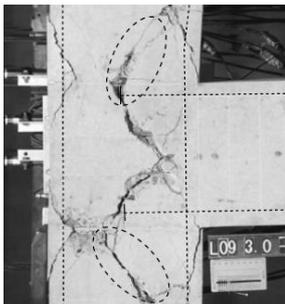


図-1.1 実験の破壊状況

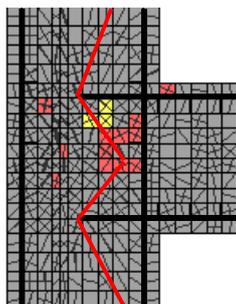


図-1.2 解析の破壊状況

討議 [山口隆司教授]

1. 解析モデルの妥当性をどのように検討しているのか。(モデルの妥当性、解析結果の妥当性など)
2. 弾性膜とは何を表現しているのか。

回答

1. モデルの妥当性においては、まず単調載荷において、要素分割と変位増分量の確認を行っている。単調載荷時での最大耐力、イベント結果において実験と同様の

結果が生じているのかを確認している。また、要素分割においては、多くの要素を 24×24mm の大きさにしているが、一部扁平の要素があり、その箇所でも局所破壊の有無においても確認している。

正負交番載荷における妥当性の検討では、イベントと最大耐力、破壊状況の3種類から判断している。イベントでは、イベントの発生の有無と実験での耐力との比によって判断している。最大耐力においても、実験での耐力比によって判断している。耐力日においては、実験値と約 20%以内の整合性としている。本研究では、90%以上の供試体で整合性が得られている。

2. 弾性膜は、実験の剛性、耐力に影響を与えるものではなく、コンクリートに埋め込み要素を与えること具体的には、コンクリート平面要素に仮想すなわち極めて薄い、あるいはせん断補強鉄筋を平均化した平面要素を重ね合わせることで、局所破壊を起こすコンクリート要素が要素分割上、単独で存在しないようにするためのものである。解析上において弾性膜は、鉄筋比換算でコンクリート要素ごとに、付与している。

鉄筋端部や柱・梁主鉄筋の交差する付近のコンクリート要素に応力が集中することで、応力が局所化し、急激な破壊に至る。本研究においては、この応力集中による破壊のために、実験とより早い段階で破壊に至ってしまっていた。そこで、コンクリート要素の応力を平準化させるために、弾性膜を付与することとした。弾性膜を付与することで、応力の伝達が改善され、応力が集中する要素の応力度を低減させることで、そこでの依存性を低減させている。

討議 [谷口徹郎准教授]

弾性膜はどのように選んでいるのか。

回答

弾性膜は、鉄筋比換算でコンクリート要素に付与している。この鉄筋比が低すぎると、コンクリート要素が急激に破壊し、高すぎると剛性が高くなり、かつ破壊しなくなるので、適正な値をパラメータとして変更して検討して、決定した。

討議 [角掛久雄准教授]

2次元モデルでの数値解析を行っているが、3次元モデルでの解析という発想はなかったのか。

回答

ト形接合部の研究は少ないため、まず2次元モデル

において、特徴を把握することを目的としている。その上で、2次元モデルを選択しており、解析上での問題点や接合分の影響等を把握した以降、3次元モデルの解析へ移行する予定である。

討議 [谷口徹郎准教授]

3次元モデルで解析した場合に、2次元モデルと何が変わるのか。

回答

面外方向の考慮において、大きく変わると考えられる。まず、鉄筋本数であるが、2次元モデルでは、鉄筋を本数換算でモデル化している。3次元モデルとすることで、鉄筋自身をモデル化することができる。このことで、鉄筋の抜け出しによる破壊形式を具体的に表現することができる。また、定着方法による定着プレートは現在は表面積換算で表現している。これは、3次元モデルとすることで、モデル化することができ、より適切に定着方法の比較ができるようになると考えられる。

次に、コンクリート要素であるが、3次元モデルにすることで、面外方向のコンクリートの剥落等を表現することができるようになる。